

Elaboration d'un modèle de prévision des rendements cotonniers dans la province du Houet (Burkina Faso)

Bronne¹, C.E., Wellens^{2,*}, J., Diakité², M., Farid¹, T., Diallo³, M. et Tychon¹, B.

¹ Université de Liège, Département des Sciences et Gestion de l'Environnement ;

² Direction Régionale de l'Agriculture, de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques des Hauts-Bassins ;

³ Observatoire de l'Eau des bassins versants du Mouhoun, de la Comoé et du Banifing.

* Courriel : J.Wellens@apefe.org – Site : www.GE-eau.org

Abstract :

Cette étude consiste à trouver un modèle de prévision de la production de coton dans la province du Houet d'une part, mais également de tenter d'évaluer la sensibilité de la méthode vis-à-vis des données nécessaires à cette prévision. Celles-ci sont de trois types : des données météorologiques, des données NDVI et des données agro-météorologiques. Ces facteurs sont issus d'une série de logiciels : VAST, AgroMetShell, WinDisp et Statistica. Plusieurs modèles de prévision ont été construits, et mettent en évidence une bonne corrélation entre certaines variables explicatives et les données de rendements du coton dans la province du Houet. Le meilleur modèle trouvé se caractérise par un coefficient de détermination (R^2) de 0.75 et une erreur-type de 73 kg/hectare, ce qui représente une erreur d'environ 6.5%. Ce modèle retenu fait appel à seulement 4 variables d'entrée faciles à obtenir.

Mots clés : prévision de rendements, coton, Burkina Faso, AgroMetShell, NDVI.

1. Introduction

La culture du coton est la principale culture de rente au Burkina Faso, surtout dans le Sud-ouest du pays où les conditions sont particulièrement adaptées, et d'où provient plus de 80% de la production nationale. Or depuis une dizaine d'années, une crise mondiale, dont les causes sont nombreuses et variées, s'est installée dans le marché du coton et met en péril l'industrie cotonnière burkinabé. Maîtriser sa production permet de s'affranchir partiellement des aléas de l'offre et de la demande, et de mieux contrôler les stocks.

Dans l'optique d'améliorer la maîtrise de la production cotonnière, cette étude a pour objectif de fournir une méthode de prévision de la production de coton dans une des principales provinces cotonnières du pays, à savoir la province du Houet. Il s'agira plus précisément de prévoir le rendement à partir de données météorologiques, agro-météorologiques et de données de télédétection (NDVI), en s'appuyant sur une série de logiciels faciles à utiliser: VAST, AgroMetShell, WinDisp et Statistica. Un modèle statistique simple et robuste exploitera ensuite un nombre restreint de variables de sorties (2 à 4) de ces logiciels pour proposer une estimation du rendement.

Ce type de démarche a déjà été appliqué avec succès dans le cadre du projet 'Global Monitoring for Food Security' au Sénégal pour la prévision

des rendements du mil, du sorgho, du maïs et du niébé (Tychon et Rosillon, 2006) et plus récemment de l'arachide (Kouadio, 2007).

2. Zone d'étude

Cette étude porte sur la province du Houet, au cœur de la région des Hauts-Bassins dans le sud-ouest du pays. Il s'agit d'une province d'environ 11 500 km² dont le chef-lieu est Bobo-Dioulasso, seconde ville du pays. La moyenne annuelle des précipitations est de 995 mm sur la période 1986-2007, mais limitée à la période d'hivernage. Cette saison pluvieuse dure environ 5 mois dans cette région du pays et s'étend des mois de mai-juin jusqu'en septembre. La moyenne annuelle de température depuis 1964 pour la province est de 27.8°C.

Des situations propices pour la culture de coton qui est exclusivement pluviale au Burkina Faso et qui nécessite une pluviométrie annuelle minimum de 700 mm, de préférence repartitionnée au cours de l'hivernage en 120 à 125 jours arrosés (Sément, 1986). Les températures optimales sont comprises entre 25 et 35°C (Parry, 1982 ; Blanc *et al.*, 2008).

Le cycle entier du cotonnier s'étend sur une durée allant de 140 à 210 jours, selon l'espèce cultivée et la région du monde dans laquelle il pousse. Ce cycle est communément divisé en 4 stades : stade d'initialisation, stade végétatif, stage reproductif (floraison-fructification) et enfin stade de matu-

ration (Tab. 3). Toute suite après floraison, les fleurs laissent place aux capsules qui renferment les graines recouvertes de fibres cellulosesques vrillées. Ce sont ces fibres qui constituent le coton proprement dit. Les capsules s'ouvrent à la maturité et les fibres continuent leur maturation à l'air libre.

Les récoltes se font à la main, sous la forme de cueillettes successives en fonction du degré de maturité des capsules, ce qui permet d'avoir un produit plus pur et moins abîmé, mais qui nécessite jusqu'à cent heures de travail par hectare (AFD, 2010). La matière récoltée est appelée coton-graine, composée des graines entourées de leurs fibres de coton. La part de coton, le coton-fibre, représente environ 40% de la masse de coton-graine.

3. Matériel et méthodes

3.1 Logiciels et principales fonctions

V.A.S.T. ('Vegetation Analysis in Space and Time) est un programme élémentaire conçu dans les années 90 qui permet l'analyse de séries chronologiques d'images satellitaires de format identique. Il a été appliqué au NDVI. Le NDVI, ou Normalized Difference Vegetation Index, est un indice de végétation qui permet de quantifier l'activité photosynthétique de la végétation et à partir de là d'en dériver la quantité de biomasse. Il utilise deux bandes spectrales dans le rouge et proche infra-rouge. Sa valeur varie théoriquement entre -1 et 1. En pratique, une surface d'eau libre (océan, lac,...) aura des valeurs de NDVI proches de 0, un sol nu prendra des valeurs de 0.1 à 0.2, alors qu'une végétation dense aura des valeurs de 0.5 à 0.8. VAST analyse une série d'images

NDVI correspondant à une période bien définie et en tire une série de paramètres, appelés également « métriques », caractérisant l'évolution de NDVI tout au long de la saison.

Les entrées de VAST sont des images satellites gratuites NOAA GAC, accompagnées par deux paramètres à fournir par l'opérateur : *pbase* et *ptol*. *Pbase* correspond à la valeur seuil de NDVI à partir de laquelle la saison agricole peut être déclarée commencée. *Ptol* représente l'accroissement minimal qui doit être observé entre deux valeurs de NDVI successives pour considérer possible le début de la saison agricole.

Les sorties de VAST sont reprises dans le tableau 1. La figure 1 les représente graphiquement sur une représentation de l'évolution de l'indice NDVI au fur et à mesure de l'avancée de la saison agricole.

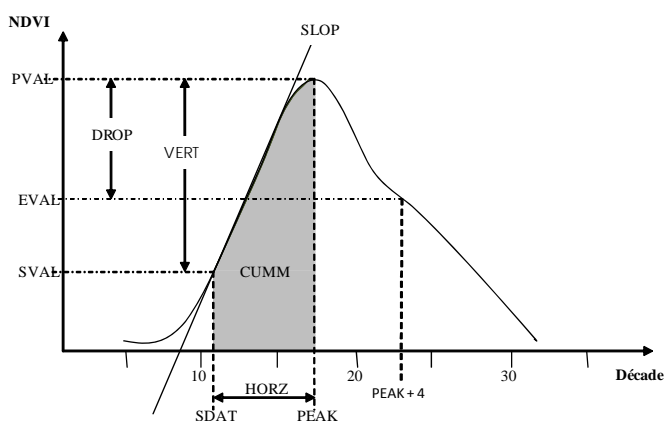


Fig. 1 - Représentation des différentes sorties de VAST : évolution de NDVI au cours d'une saison agricole (Kouadio, 2007 ; Lee, 1994).

PEAK	Décade durant laquelle le NDVI est maximum ;
SDAT	Décade du début de la saison agricole ;
HORZ	PEAK – SDAT, c'est-à-dire le nombre de décades entre le début de la saison agricole et la valeur maximale de NDVI ;
SVAL	Valeur de NDVI correspondant au début de la saison agricole ;
PVAL	Valeur de NDVI maximale ;
VERT	PVAL – SVAL, c'est-à-dire la différence entre la valeur de NDVI maximale et celle du début de saison ;
EVAL	Valeur de NDVI à la décade PEAK+4, c'est-à-dire 4 décades après le maximum ;
DROP	PVAL – EVAL, c'est-à-dire la différence entre la valeur de NDVI maximale et celle 4 décades plus tard ;
SLOP	Pente de la droite reliant les points (SDAT, SVAL) et (PEAK, PVAL) ;
CUMM	Cumul des valeurs de NDVI entre le début de la saison agricole (SDAT) et la décade du maximum de NDVI ;
SKEW	Ratio entre la somme des 3 valeurs de NDVI suivants la décade PEAK (PEAK+1 à PEAK+3) et la somme des 7 valeurs de NDVI comprises entre PEAK-3 et PEAK+3.

Tab. 1 - Sorties du programme VAST et leur définition

AgroMetShell (AMS) est un outil développé par la FAO pour le suivi agro-météorologique des cultures et la prévision des rendements. Les opérations que réalise AMS s'appuient sur le calcul du bilan hydrique des cultures. Ce modèle part simplement du principe qu'à la fin d'un intervalle de temps j , la quantité d'eau disponible dans un sol est égale à la quantité que ce sol contenait à la fin de l'intervalle $j-1$, additionnée de la quantité d'eau apportée par les précipitations durant l'intervalle j , moins l'évapotranspiration potentielle de la culture durant cette même période. La plante puise dans la réserve en eau du sol de manière identique quelle que soit la réserve en eau restant dans le sol. Lorsque la réserve est complètement épuisée, la plante est en état de stress. Lorsque la réserve en eau dépasse sa valeur maximum, l'excédent est perdu sous forme de ruissellement et de drainage. Cette supposition assez simple peut s'écrire :

$$B_j = B_{j-1} + P - ET_p - \text{pertes}$$

Avec :

B_j et B_{j-1} eau dans la zone racinaire à la fin de j et $j-1$;
 P pluviométrie durant la période j ;
 ET_p évapotranspiration potentielle durant la période j ;
pertes pertes d'eau par ruissellement et drainage.

Les données d'entrée consistent en des données météorologiques et des données agronomiques. Les données météo concernent essentiellement la pluviométrie et l'évapotranspiration. Concernant les données agrométéorologiques, il faut fournir les dates de semis, la durée du cycle de la culture, la réserve en eau maximale du sol, le pourcentage de pluie efficace, le coefficient cultural de la pré-saison, et les durées et les coefficients culturaux des différentes phases phénologiques de la culture.

Les variables de sortie calculées par AMS sont nombreuses. Celles qui ont été principalement utilisées par cette étude sont données dans le tableau 2.

Windisp est un petit système d'information géographique mis au point par la FAO et utilisé dans cette étude pour l'affichage et l'analyse d'images. Il permet entre autres de dessiner des graphes représentant l'évolution d'un paramètre à partir d'une série d'images, et de superposer des images et des cartes thématiques afin d'en extraire des données chiffrées selon les limites administratives de la Province du Houet.

3.2 Traitement et modélisation dans Statistica

L'ensemble des variables de sortie de VAST et d'AMS, les cumuls des données météo et du NDVI et l'année constituent des variables explicatives potentielles du rendement. Parmi elles, seules les mieux corrélées aux rendements mesurés sur une série historique de 22 ans seront retenues dans un modèle de régression multiple chargé de retrouver le rendement cultural. Le logiciel Statistica a été utilisé pour la recherche de la régression multiple. On dénombre entre 60 et 75 variables explicatives potentielles pour le set de calibration. La régression linéaire multiple se décline en plusieurs étapes. Premièrement, les variables n'étant pas corrélées au rendement (à variances nulles) sont supprimées. Les variables explicatives potentielles restantes du rendement sont ensuite sélectionnées par régression pas à pas.

La seconde étape consiste en la création de modèles de prévision de rendement et la mise en évidence des variables impliquées dans ceux-ci. Pour ce faire, une recherche exhaustive de modèles est lancée à partir des variables sélectionnées dans l'étape précédente. Les modèles doivent satisfaire à certaines exigences pour être retenus, à savoir :

SWi	Contenu initial en eau du sol ;
%avail	Pourcentage de données réelles utilisées pour la simulation (supérieur à 40%) ;
TWR	Besoins totaux en eau de la plante ;
INDX	Indices de satisfaction en eau en fin de cycle calculés à partir des données réelles, des données normales, et à la dernière décade bénéficiant de données réelles ;
(-Harvest, -Normal, - Latest)	
WEX (i, v, f, r & t)	Excès en eau à chaque phase phénologique et valeur totale de l'excès en fin de cycle ;
WDEF (i, v, f, r & t)	Déficit en eau à chaque phase phénologique et valeur totale du déficit en fin de cycle
ETr (i, v, f, r & t)	Evapotranspiration réelle de la culture à chaque phase phénologique et valeur totale en fin de cycle

Tab. 2 - Sorties du logiciel AgroMetShell et leur définition.

- Concerner des variables qui ont un sens au point de vue agronomique et qui ne sont pas corrélées entre elles, afin de donner une certaine robustesse au modèle ;
- Avoir un coefficient de détermination (R^2) supérieur à 0.5 ;
- Faire appel à un nombre restreint de variables, compris entre 2 et 4.

La troisième étape comprend la validation des modèles respectant ces critères, c'est-à-dire la capacité de ceux-ci à prédire les rendements. Le nombre d'année étant relativement faible (22 années), il n'est pas raisonnable de séparer les observations en un échantillon pour la calibration et un autre pour la validation. La méthode la plus adaptée dans ce cas est donc la validation croisée dite "leave-one-out".

Le principe de cette méthode consiste à retirer une observation de l'échantillon, de calibrer le modèle sur les $n-1$ observations restantes, et de le valider ensuite avec l'observation mise de côté. La même opération est ensuite répétée en mettant à chaque fois de côté une autre observation pour effectuer la validation, jusqu'à ce que toutes les observations de l'échantillon y soient passées. Le coefficient de détermination (R^2_{cv}) entre les observations historiques et les valeurs prédites lors de chaque étape de validation (RC) peut ensuite être calculé et permettra d'évaluer l'efficacité de prévision du modèle.

En pratique, pour chaque set de données, 2 à 3 modèles sont sélectionnés et soumis à la validation croisée "leave-one-out", afin de sélectionner celui qui présente le meilleur R^2_{cv} et la plus petite erreur quadratique moyenne (RMSE pour Root Mean Square Error). Les prévisions ont lieu, à priori, à la date de récolte, c'est-à-dire que les cumuls pour tous les stades, y compris le stade de maturation, sont intégrés au set de calibration.

3.3 Méthodologie générale

Le concept de base sur lequel repose cette étude est relativement simple. Il s'agit en effet de rechercher un modèle de prévision des rendements en mettant en évidence les corrélations entre les rendements historiques du coton des années 1986 à 2007 et différentes variables explicatives.

Celles-ci vont être de différents types : météorologiques, agro-météorologiques, ou issues d'images satellites de NDVI. Les variables météorologiques pouvant expliquer le rendement sont constituées de cumul de différents paramètres météorologiques, par phase phénologique ou au total sur le cycle de la plante. Les variables agro-météorologiques sont représentés par les sorties de AgroMetShell. Enfin, les données issues des images satellites NOAA GAC sont les sorties de VAST moyennisées sur la Province du Houet d'une part, et les cumuls par phase phénologique des valeurs de NDVI extraites d'autre part (Fig. 2).

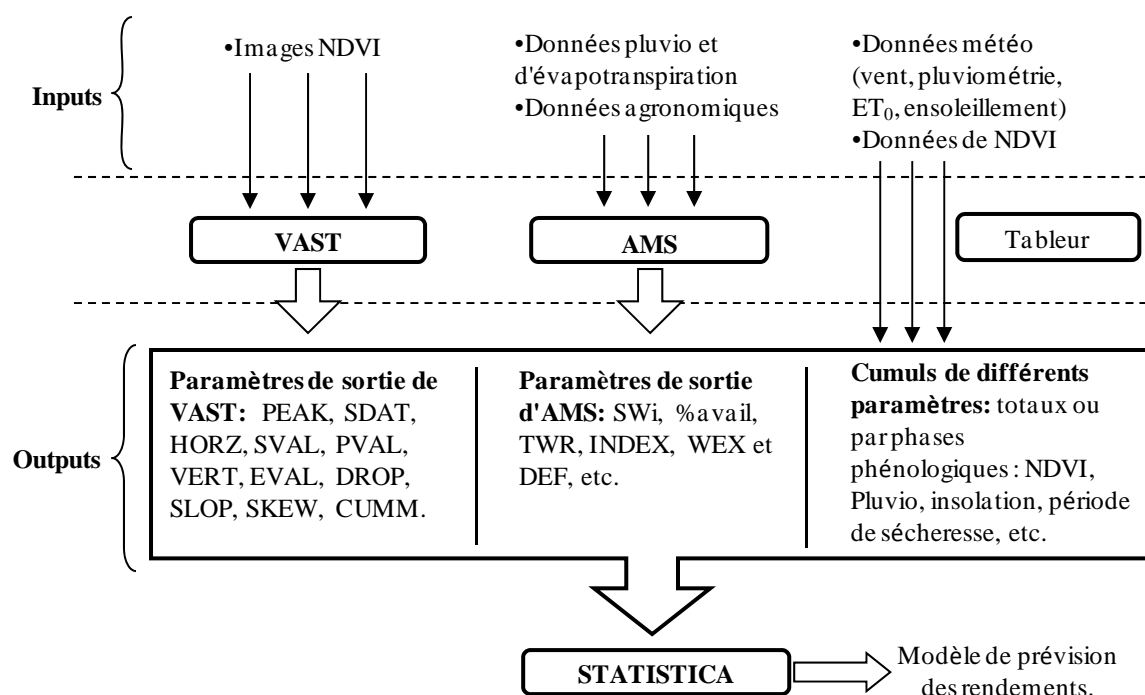


Fig. 2 - Représentation schématique de la méthodologie générale

	prés-sais.	initial.	végét.	reprod.	Matur.	total
FAO		30 j.	50 j.	55 j.	45 j.	180 j.
Sément		10 j.	50 j.	60 j.	40 j.	160 j.
Kc	0.15	0.35		1.15	0.5	

Tab. 3 - Paramètres de culture (coton).

4. Collecte des données

Les données pluviométriques pour la période 1986 à 2007 venaient des stations météo de Bobo-Dioulasso (aéroport), Farako-Ba et Bama (INERA). Vu leur position centrale dans la province et la similitude de leurs relevés, leurs données ont été agrégées en réalisant des moyennes par décade. Les valeurs d' ET_0 pour la même période sont issues du modèle atmosphériques global de l'ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) et représentent déjà les valeurs moyennes pour toute la province. La station de l'aéroport de Bobo-Dioulasso a également permis les cumuls des durées d'insolation, et les températures maximales et moyennes.

Les images décadaires NDVI de NOAA en mode GAC ont été fournies par la FAO. Certaines années montraient des signaux fortement irréguliers indiquant l'absence de lissage mathématique pour ces années. Un lissage a donc été effectué sur ces années à l'aide de Windisp afin d'homogénéiser la série de données avant le traitement dans VAST. Plus précisément la procédure suivant a été suivie : i) suppression des 'bad values', c'est-à-dire des valeurs dépassant un certain seuil ; ii) suppression des valeurs aberrantes dûes aux nuages, se traduisant par des déviations négatives de plus de 10% et iii) lissage des valeurs restantes par une moyenne mobile tenant compte de la valeur avant et après la décade d'observation. Pour la détermination de $pbase$, la valeur minimale annuelle de NDVI pour chaque pixel de l'image a été calculée à l'aide de WinDisp. Ensuite pour chacune des années une valeur de $pbase$ a été définie comme étant cette valeur minimale majorée de 15%. $Ptol$ est quant à lui un petit peu plus délicat à estimer car il nécessite l'établissement d'une valeur d'accroissement minimale à observer entre 2 intervalles successifs. Cette valeur ne peut pas être approximée par calcul, et doit donc être estimée sur base de l'observation dans WinDisp des graphiques de l'évolution de l'indice NDVI durant chaque année. Les valeurs estimées de $pbase$

variaient entre 0.276 et 0.316 ; de $ptol$ entre 0.016 et 0.024. Les cumuls de valeurs de NDVI ont également été réalisés à l'aide du logiciel WinDisp.

Les dates de semis réelles du coton pour les années 1986-2007 dans la province du Houet n'ont pas pu être obtenues. Hauchart (2005) a constaté que les dates de semis doivent être comprises entre la mi-mai (ds_Mai-2^1) et début du mois de juillet (ds_Juil-1), lorsque la saison des pluies a déjà bien commencé. Vu l'écart entre ces deux dates précoces et tardives, trois autres dates ont été fixées pour chaque année sur base de seuils pluviométriques à dépasser : 120, 175 et 250 mm (ds_120mm ; ds_175mm et ds_250mm). La longueur du cycle du cotonnier varie en fonction de la variété cultivée. Deux durées de cycles différentes ont été envisagées : 160 jours sur base de l'ouvrage de Sément (1986) et 180 jours selon la FAO (Allen *et al.*, 1988). Les valeurs du coefficient cultural ont également été tirées de la FAO (Allen *et al.*, 1988).

Enfin, la capacité de rétention en eau du sol est estimée à 120 mm (Wellens *et al.*, 2004 ; Dembélé et Somé, 1991). Le pourcentage de précipitation effective est estimé à 90%.

Les données de rendements historiques du coton pour la région du Houet proviennent de la base de données officielle Agristat, seule base de données disponible ayant un nombre suffisant d'années. Comparé avec les quelques rendements publiés par la Sofitex (2010), ces données sont relativement rassurantes.

5. Résultats

Les cinq sets de calibration réalisés à partir des 5 dates de semis estimées et en tenant compte d'un cycle total de 180 jours ont conduit aux résultats suivants (tableau 4). Les meilleurs résultats sont mis en évidence en gras.

¹ ds_Mai-2 : deuxième décade de Mai ; ds_Juil-1 : première décade de Juillet ; ...

Cette première série de résultats montre que les dates de semis 'précoces' (*ds_Mai-2* et *ds_120mm*) fournissent les meilleurs chiffres, avec un R^2 dépassant les 0.7 dans le cas de *ds_120mm* et une erreur-type en deçà des 80 kg. Sur un rendement moyen de 1 098 kg/ha sur les 24 dernières années, ceci représente une erreur moyenne d'environ 7%. L'évolution des valeurs prédites par ce modèle et des valeurs observées est représentée à la figure 3.

Il est tout de même important de garder à l'esprit que les mauvais résultats concernant les dates tardives n'ont aucun rapport avec l'impact que pourraient avoir celles-ci sur les rendements. Ils suggèrent juste, par leur comparaison avec les autres résultats obtenus, que ces dates de semis tardives ne correspondent manifestement pas à la réalité de terrain. Il semble en effet que les dates de semis les plus probables soient celles utilisées pour les deux premiers modèles, à savoir des dates précoces.

Concernant les variables explicatives auxquelles les modèles font appel, on observe des similarités pour les deux modèles les plus performants. Ils ont en effet 3 des 4 facteurs en commun ; l'excès en eau durant les trois premières semaines de croissance, l'évapotranspiration durant la phase reproductive et la valeur maximale de NDVI durant la saison. Ces trois facteurs sont par conséquent fortement corrélés au rendement.

Le changement de la durée du cycle entraîne des changements dans les durées respectives des différentes phases, ce qui a entraîné la modification de la majorité des facteurs explicatifs, à l'exception des sorties de VAST. Les résultats obtenus avec cette durée de cycle sont repris dans le tableau 5.

Les meilleurs résultats sont à nouveau obtenus avec les deux modèles basés sur des dates de semis précoces, loin devant les trois autres modèles basés sur des dates moyennes ou tardives. Le meilleur modèle atteint un R^2 de 0.75 avec une erreur-type de moins de 73 kg/hectare, ce qui en fait le meilleur modèle trouvé jusqu'ici (erreur moyenne de 6.5%). Il est basé dans ce cas sur la date de semis de mi-mai. L'évolution des valeurs prédites par ce modèle et celles des valeurs observées est représentée à la figure 4.

En s'intéressant aux variables explicatives utilisées dans les deux modèles les plus performants sur base d'un cycle de 160 jours, on retrouve à nouveau trois facteurs explicatifs communs : l'excès en eau durant la phase d'initialisation, la valeur NDVI maximale de la saison, et l'année. Les deux premiers sont deux facteurs qui sont également utilisés dans les deux meilleurs modèles basés sur un cycle de 180 jours (cf. ci-dessus). La présence de l'année comme facteur explicatif des modèles tend à montrer une tendance dans l'évolution des rendements, qui est négative dans ce cas.

	R^2_{cv}	RMSE (kg/ha)	Variables explicatives
ds_Mai-2	0,66	85,2	WEXi , PVAL , ETaf , Pluvio_dec3
ds_120mm	0,71	78,5	WEXi , PVAL , ETaf , Tmoy_init
ds_175mm	0,57	96,3	Pluvio_init , VERT , Pluvio_mat , Année
ds_250mm	0,36	123,6	ETav , PVAL , Pluvio_mat , Pluvio_dec3
ds_Juil-1	0,12	152	Cr1a , PVAL , Tmoy_reg , Année

Tab. 4 - Résultats des validations des différents modèles calculés sur base d'un cycle de 180 jours

Avec :

<i>Cr1a</i> :	sortie de AMS pouvant être assimilée au début réel de la saison agricole,
<i>ETAf</i> :	évapotranspiration réelle au stade de floraison-fructification,
<i>ETAv</i> :	évapotranspiration réelle au stade végétatif,
<i>Pluvio_dec3</i> :	précipitation tombée durant la 3 ^{ème} décade du cycle,
<i>Pluvio_init</i> :	cumul pluviométrique durant la phase initiale,
<i>Pluvio_mat</i> :	cumul pluviométrique durant la phase de maturation,
<i>PVAL</i> :	valeur maximale de NDVI au cours du cycle de végétation,
<i>Tmoy_init</i> :	température moyenne durant la phase initiale,
<i>Tmoy_veg</i> :	température moyenne durant la phase végétative,
<i>VERT</i> :	différence entre la valeur de NDVI maximale et la valeur de NDVI au début de la saison agricole,
<i>WEXi</i> :	excès en eau au stade initial.

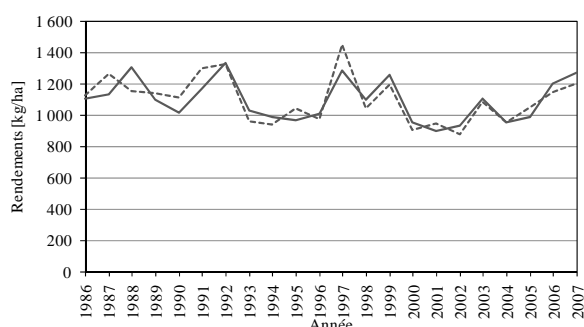


Fig. 3 - Comparaison rendements simulés (plein) et observés (pointillé) pour le cycle de 180 jours.

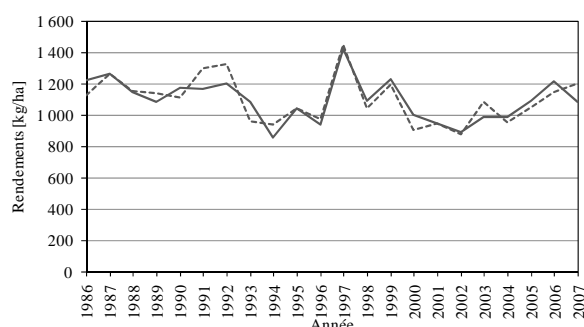


Fig. 4 - Comparaison rendements simulés (plein) et observés (pointillé) pour le cycle de 160 jours.

	R ² cv	RMSE (kg/ha)	Variables explicatives
ds_Mai-2	0,75	72,8	WEXi , PVAL , ETAv , Année
ds_120mm	0,67	88,3	WEXi , WEXv , PVAL , Année
ds_175mm	0,40	114,3	Cr1a , Pluvio_init , Ins_init
ds_250mm	0,31	129,7	Pluvio_mat , Ins_tot , Année
ds_Juil-1	0,20	139,2	Cr1a , ETAv , Tmoy_veg , VERT

Tab. 5 - Résultats des validations des différents modèles calculés sur base d'un cycle de 160 jours

Avec :

<i>Cr1a</i> :	sortie d'AMS pouvant être assimilée au début réel de la saison agricole,
<i>ETAv</i> :	évapotranspiration réelle au stade végétatif,
<i>Ins_init</i> :	cumul du nombre d'heures d'ensoleillement durant la phase initiale,
<i>Ins_tot</i> :	cumul du nombre d'heures d'ensoleillement sur toute la durée du cycle,
<i>Pluvio_init</i> :	cumul pluviométrique durant la phase initiale,
<i>Pluvio_mat</i> :	cumul pluviométrique durant la phase de maturation,
<i>PVAL</i> :	valeur maximale du NDVI au cours du cycle de végétation,
<i>Tmoy_veg</i> :	température moyenne durant la phase végétative.
<i>VERT</i> :	différence entre le NDVI maximale, et le NDVI au début de la saison agricole,
<i>WEXi</i> :	excès en eau au stade initial,
<i>WEXv</i> :	excès en eau au stade végétatif.

6. Discussion

Les résultats exposés ci-dessus mettent en évidence l'importance de certains facteurs. Ainsi, l'excès en eau durant la phase d'initialisation et la valeur de NDVI maximale de la saison se retrouvent dans les quatre modèles les plus performants pour la prédiction des rendements, qu'ils soient basés sur 160 ou sur 180 jours. Ceci nous conduit donc à penser que ces paramètres sont très corrélés au rendement, qu'ils sont assez stables par rapport aux données phénologiques, et que ce sont donc de bons prédicteurs.

Il est également intéressant de noter que les trois sortes de facteurs explicatifs sont représentés dans chacun des quatre modèles les plus performants. Ainsi chacun de ces modèles fait appel à au moins une sortie d'AMS, au moins une sortie de Vast, et au moins un facteur de cumul (ou l'année). Cette observation tend à justifier la présence de chacun des outils utilisés dans cette méthode.

Remarquons également que tous les paramètres utilisés dans les quatre meilleurs modèles trouvés sont disponibles au début de la phase de maturation, c'est-à-dire environ un mois avant la date de fin de cycle. Ceci signifie que les estimations de rendements peuvent être faites à l'aide de ces modèles au moins un mois avant les dates de récolte.

Les résultats permettent aussi de saisir toute l'importance des dates de semis dans ce genre de méthode de prévisions. En effet, les dates de semis testées sont relativement proches les unes des autres dans le temps. Or, les résultats obtenus peuvent varier énormément.

7. Conclusion

L'utilisation des données agrométéorologiques et des données satellitaires de NDVI a permis l'élaboration de différents modèles, basés sur des données phénologiques et météorologiques

différentes. Le meilleur d'entre eux, basé sur des dates de semis précoces, est caractérisé par un R^2 de validation de 0.75 et conduit à une RMSE d'environ 6.5% (73 kg/hectare). Il permet une prévision du rendement plus d'un mois avant la date de récolte. Ceci en fait un modèle tout à fait satisfaisant, surtout si l'on tient compte du peu de données disponibles et des nombreux facteurs estimés tout au long du processus d'élaboration des modèles.

Ces résultats très satisfaisants peuvent être appliqués à la prévision des productions agricoles. Ils pourront certainement contribuer à l'amélioration des outils de prévision des productions agricoles mais il reste encore du travail à accomplir car les prévisions des surfaces emblavées en coton, très variables d'une année à l'autre, demeurent délicates et constituent une difficulté importante dans la mise en place de ces outils de prévision des productions agricoles.

Références

- AFD, 2010. Le Cotonnier (*Gossypium hirsutum*). (<http://www.afd.be/~plant-ch/cotonnier.htm>, consulté le 27/01/2010).
- Allen, R., L.S. Pereira, D. Raes, and M. Smith, 1998. Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper N° 56. Rome, Italy. 300p.
- Blanc, E., Quirion, P. and Strobl, E., 2008. The climatic determinants of cotton yields: Evidence from a plot in West Africa. *Agr. Forest Meteorol.* 148, 1093-1100.
- Dembele, Y. et Some, L., 1991. Propriétés hydrodynamique des principaux types de sol du Burkina Faso. Soil water balance in the Sudano-Sahelian zone. IAHS Publication N° 199, p. 217-229.
- Hauchart, V., 2005. Culture du coton et dégradation des sols dans le Mouhoun (Burkina Faso). Thèse de doctorat géographie, Université de Reims-Champagne-Ardenne, France. 376 p.
- Kouadio, A.L., 2007. Prévision de la production nationale d'arachide au Sénégal à partir du modèle agrométéorologique AMS et du NDVI. Mémoire de DES, Université de Liège et Faculté Agronomique de Gembloux, Belgique. 54 p.
- Parry, G., 1982. Le cotonnier et ses produits. Coll. Techniques agricoles et productions tropicales, Maisonneuve & Larose, Paris, France. 502p.
- Sément, G., 1986. Le cotonnier en Afrique tropicale. Coll. Le technicien d'agriculture tropicale. Maisonneuve & Larose, Paris, France. 133 p.
- Sofitex, 2010. Evolution de la production par région cotonnière sur 7 ans. (www.sofitex.bf, consulté le 15/01/10/)
- Tychon, B. et Rosillon, D., 2006. Prévision des rendements (mil, sorgho, maïs et niébé) : Sénégal. pp 68-105. Dans Gilliams S., Mars 2007. Service operations report Senegal 2006. Earth Watch GMES Service Element (GSE) ESA ESRIN. 122 p. (<http://www.gmfs.info>. Consulté le 15/01/10).
- Wellens, J. et Compaoré N.F., 2004. Renforcement de la capacité de gestion des ressources en eau dans l'agriculture moyennant des outils de suivi-évaluation – GEeau. Rapport Annuel No 3 (décembre 2003 – Octobre 2004). Direction Régionale de l'Agriculture, de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques des Hauts Bassins, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso & K.U.Leuven, Leuven, Belgique. 124 p.